

Достижения науки – агропромышленному производству: материалы LIV Международной научно-технической конференции. Ч. 3. Челябинск : ЧГАА, 2015. – С. 302–307.

7. Шерьязов С. К. Особенности использования солнечной энергии для теплоснабжения / С. К. Шерьязов, В. А. Новикова // Приоритетные направления развития энергетики в АПК: Материалы I Всероссийской научно-практической конференции. Курган : Курганская ГСХА, 2017. – С. 28–33.

8. Шерьязов С. К. Разработка схемы и алгоритма управления переключения солнечных коллекторов в системе теплоснабжения / С. К. Шерьязов, А. Х. Доскенов, А. С. Чигак // Энергетика – агропромышленному комплексу России: Материалы LVI Международной научно-практической конференции. Челябинск : ЮУрГАУ, 2017. – С. 230–235.

9. Шерьязов С. К. Использование возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве: учебное пособие. / С. К. Шерьязов, О. С. Пташкина- Гирина. Челябинск : ЧГАА, 2013. – 280 с.

УДК 658.262

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ БГУ-100

EXERGETIC BALANCE OF BIOGAS PLANT BGU-100

Есаулкова Ю. С., Арбузова Е. В., Велькин В. И.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
jesaulk@mail.ru

Esaulkova J. S., Arbuzova E. V., Velkin V. I.
Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: В работе изложен эксергетический анализ работы биогазовой установки на основе отходов животноводства БГУ-100. Установлено, что для определения эффективности установки проведение только энергетического анализа не достаточно. В результате эксергетического анализа, основанного на термодинамической функции, учитывающей как свойства самой системы, так и окружающей среды, выявлены пути совершенствования работы БГУ и составлен эксергетический баланс.

Abstract: The exergic efficiency of a biogas plant based on animal waste of BGU-100 is analyzed. It is established that only an energy analysis is not sufficient to determine the efficiency of an installation. As a result of the exergic analysis based on the thermodynamic function, taking into account both the properties of the system itself and the environment, ways of improving the work of the BSU have been revealed and an exergetic balance has been drawn up.

Ключевые слова: биогаз, биогазовая установка, эксергетический баланс, энергетический анализ, коэффициент полезного действия.

Key words: biogas, biogas plant, exergic balance, energy analysis, efficiency.

По данным [1] число прибыльных сельскохозяйственных организаций в России на конец 2016 года составило 3,3 тыс. Причем поголовье крупного рогатого скота в них насчитывает около 8 356 тыс. голов, а так же свиней – 18 389, овец и коз – 4 223 и птиц – 452 млн. голов. Данные хозяйства оказывают мощное негативное воздействие на окружающую среду, соизмеримое с влиянием промышленных объектов, образуя ежегодно непомерные количества отходов. Для решения этих и иных проблем решением является применение биогазовых установок. В России главной причиной ограниченного применения биогазовых технологий являются большие энергозатраты на технологические нужды оборудования, при этом следует отметить, что основные энергетические потери возникают в метантенке [2, 3]. Наиболее перспективным, для усовершенствования анализа эффективности энергетических процессов работы БГУ, составления на его основе методик расчета и проектирования высокоэффективного биогазового оборудования, является эксергетический метод анализа, основанный на термодинамической функции, учитывающей как свойства самой системы, так и окружающей среды [4].

Кафедра атомных станций и возобновляемых источников энергии УрФУ участвовала в создании инновационного проекта «Создание и производство модульной климатонезависимой биогазовой установки на основе анаэробного реактора из композитных материалов». Рассматриваемая БГУ-100 находится в г. Сафоново, Смоленской области (рис. 1). БГУ-100 работает в режиме метангенерации с октября 2016 г.



Рис. 1. Биогазовая установка БГУ-100 в г. Сафоново, Смоленской области

Эксергетический анализ любой энергетической установки целесообразно начинать с определения границ объекта, а также всех составных частей, входящих в этот объект или необходимых для его функционирования. В данном случае предметом исследования является БГУ, в состав которой входят сам метантенк, система подогрева и перемешивания. Установка предназначена для анаэробной очистки органосодержащей биомассы.

Первым этапом для составления эксергетического баланса (рис. 2) рассчитываем входящие эксергии.



Рис. 2. Схема эксергетического баланса биогазовой установки

Эксергия субстрата может быть вычислена, как сумма химических эксергий веществ, образующих смесь, плюс потери эксергии из-за смешивания веществ:

$$E_{\text{хим,смеси}} = \sum_i n_e E_{\text{хим},e} + RT_0 y_e \ln y_e, \quad (1)$$

где $E_{\text{хим},e}$ – химическая эксергия чистого элемента e в смеси; n_e – это количество кмоль элемента e ; R – газовая постоянная; T_0 – температура; y_e – мольная доля вещества.

$$E_{\text{хим}} = \Delta G_f + \sum_e n_e E_{\text{хим},e}, \quad (2)$$

где ΔG_f – свободная энергия Гиббса. Разница между входной и выходной эксергией системы часто связана с необратимостью процесса системы, вместе с которой увеличивается и энтропия.

$$\Delta E = T_0 \Delta S = E_{\text{вх}} - E_{\text{вых}}, \quad (3)$$

где ΔE – потери эксергии, ΔS – общее увеличение энтропии, $E_{\text{вх}}, E_{\text{вых}}$ – начальная и конечная эксергия. Спрос на электроэнергию для перекачки и смешивания сырья различается у БГУ. Расход электроэнергии на собственные нужды БГУ-100 равен 20 кВт·ч/сут. Коэффициент эксергии электроэнергии принимается равным 1. При обычной работе установки навоз разбавляется рекуперативной водой в объеме 1,4 т/сут, для повышения влажности субстрата до 92 %, 6,5 кг/с – сетевая вода.

Следующим этапом анализа будет расчет выходящих эксергий. Кроме биогаза, как основного продукта процесса переработки субстрата, биоудобрения также являются важным результатом использования БГУ. Эксергию биоудобрений находим по формуле химической эксергии. В данном анализе мы предполагаем, что содержание CH_4 в биогазе составляет 65 %, а CO_2 – 35 % [5]. Низшая теплота сгорания для метана 45000 кДж/кг. Его эксергетический коэффициент 0,17. Диоксид углерода является нежелательным результатом производства биогаза (учтен в потерях эксергии). При условии использования CO_2 далее в производстве, продукт можно было бы учитывать в эксергии выходящих полезных продуктов БГУ. Тем самым увеличивается эксергетический КПД.

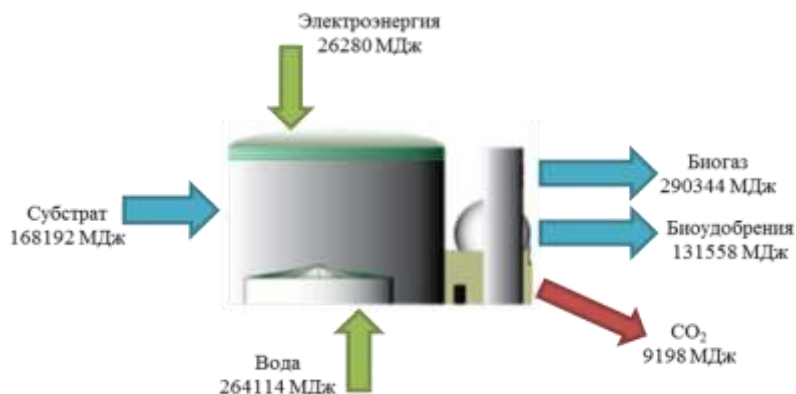


Рис. 3. Эксергетический баланс БГУ

Результаты эксергетического анализа процесса производства биогаза отдельно по компонентам показывают, что основной эксергетический вклад вносят субстрат и вода (с учетом как сетевой воды на поддержание температуры в теплообменнике, так и рекуперативной воды для повышения влажности навоза). После всех стадий анаэробного сбраживания, в результате мы получаем биогаз, биоудобрения и углекислый газ. При суммировании эксергий конечных продуктов, заметно, что они имеют более высокую эксергию, чем субстрат на входе в биогазовую установку. Согласно второму закону термодинамики, увеличение эксергии конечных продуктов показывает, что эксергетическое качество навоза повысилось в результате генерации биогаза и биоудобрений.

Список использованных источников

1. Основные показатели сельского хозяйства в России в 2016 году / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения 22.11.2017).
2. Арбузова Е. В., Щеклеин С. Е., Холмаков А. А., Гладилов И. А., Шастин А. Г. Технологические аспекты повышения эффективности использования энергетического потенциала биомасс России // Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 3. С. 82–88.
3. Щеклеин С. Е., Шастин А. Г., Коржавин С. А. Интенсификация процессов ферментативного получения этанола методами ультразвукового воздействия // Энергия биомассы и экология. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2012. С. 60–64.
4. Янтовский Е. И. Потoki энергии и эксергии. М. : Наука, 1988. 144 с.
5. Hartmann H., Ahring B. K. The Future of Biogas Production [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.scribd.com/document/86735578/Hartmann-Future-Biogas> (дата обращения 22.11.2017).